

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Martin Dottling et al.
Appl. No.: 10/510,896
Filed: October 18, 2004
Title: METHOD AND COMMUNICATIONS DEVICE FOR ADAPTING THE DATA RATE IN A COMMUNICATIONS DEVICE
Art Unit: Unknown
Examiner: Unknown
Docket No.: 112740-1002

Mail Stop PCT
Commissioner for Patents
P. O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Please enter of record in the file of the above application, the attached certified copy of German Application No. 102 19 151.4 filed April 29, 2002. Applicant claims priority of April 29, 2002, the earliest filing date of the attached German application under the provisions of Rule 55 and 35 U.S.C. §119, and referred to in the Declaration of this application.

Although Applicant believes no fees are due with this submission, the Commissioner is authorized to charge any fees which may be required, or to credit any overpayment to account No. 02-1818.

Respectfully submitted,



William E. Vaughan
(Reg. No. 39,056)
Bell, Boyd & Lloyd
P.O. Box 1135
Chicago, Illinois 60690-1135
(312) 807-4292

Dated: February 8, 2005



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 19 151.4

Anmeldetag: 29. April 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

Bezeichnung: Verfahren und Kommunikationsvorrichtung zur Anpassung der Datenrate in einer Kommunikationsvorrichtung

IPC: H 03 M, H 04 Q

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. Januar 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Verfahren und Kommunikationsvorrichtung zur Anpassung der Datenrate in einer Kommunikationsvorrichtung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruches 1 bzw. 11 zur Anpassung der Datenrate in einer Kommunikationsvorrichtung sowie eine entsprechende Kommunikationsvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruches 16.

10

Verschiedene Applikationen in Kommunikationssystemen arbeiten zumeist mit unterschiedlichen Datenraten. Die zugrunde liegenden Übertragungskanäle bieten aber meist z.B. wegen der Einbettung in gewisse Sendeformate, nur eine feste Datenübertragungsrate oder Roh-Datenübertragungsrate an, oder nur einen diskreten Satz solcher Datenraten. Es wird daher im allgemeinen notwendig sein, an der entsprechenden Schnittstelle die Datenraten aneinander anzupassen. Dies wird 15 im folgenden an einem Beispiel aus der UMTS-Standardisierung beschrieben:

20

Augenblicklich wird an der Standardisierung des sogenannten UMTS-Mobilfunkstandards ('Universal Mobile Telecommunication System') für Mobilfunkgeräte der dritten Mobilfunkgeneration

25

gearbeitet. Gemäß dem derzeitigen Stand der UMTS-Standardisierung ist vorgesehen, die über einen Hochfrequenzkanal zu übertragenden Daten einer Kanalcodierung zu unterziehen, wobei hierzu insbesondere Faltungscodes ('Convolutional Codes') verwendet werden. Durch die

30

Kanalcodierung werden die zu übertragenden Daten redundant codiert, wodurch auf der Empfängerseite eine zuverlässigere Wiedergewinnung der gesendeten Daten möglich ist. Der bei der Kanalcodierung jeweils verwendete Code wird durch seine

Coderate $r = k/n$ charakterisiert, wobei k die Anzahl der zu

35

übertragenden Daten- oder Nachrichtenbits und n die Anzahl der nach der Codierung vorliegenden Bits bezeichnet. Je kleiner die Coderate ist, desto leistungsfähiger ist in der

Regel der Code. Ein mit der Codierung verbundenes Problem ist jedoch, dass die Datenrate um den Faktor r reduziert wird.

Um die Datenrate des codierten Datenstroms an die jeweils mögliche Übertragungsrate anzupassen, wird im Sender eine Ratenanpassung ('Rate Matching') durchgeführt, wobei nach einem bestimmten Muster entweder Bits aus dem Datenstrom entfernt oder in dem Datenstrom verdoppelt werden. Das Entfernen von Bits wird als 'Punktieren' und das Verdoppeln 10 als 'Repetieren' bezeichnet.

Gemäß dem derzeitigen Stand der UMTS-Standardisierung wird vorgeschlagen, zur Ratenanpassung einen Algorithmus zu verwenden, der eine Punktierung mit einem annähernd regelmäßigen Punktierungsmuster durchführt, d.h. die zu punktierenden Bits sind äquidistant über den jeweils zu punktierenden codierten Datenblock verteilt.

Darüber hinaus ist bekannt, dass beim Faltungscodieren die Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER) am Rand eines entsprechend codierten Datenblocks abnimmt. Ebenso ist bekannt, dass die Bitfehlerrate innerhalb eines Datenblocks durch ungleichmäßig verteiltes Punktieren lokal verändert werden kann. Es ist weiterhin aus WO 01/26273A1 und WO 01/39421 A1 bekannt, dass es vorteilhaft ist, die einzelnen Datenblöcke des Datenstroms zur Anpassung der Datenrate gemäß einem bestimmten Punktierungsmuster zu punktieren, wobei das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass es eine von einem mittleren Bereich der einzelnen Datenblöcke zu 25 mindestens einem Ende der einzelnen Datenblöcke hin stetig zunehmende Punktierungsrate aufweist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Anpassung der Datenrate eines Datenstroms in einer Kommunikationsvorrichtung sowie eine entsprechende Kommunikationsvorrichtung bereitzustellen, welche eine

zufriedenstellenden Bitfehlerrate gewährleisten und insbesondere in Mobilfunksystemen mit Faltungscodierung einsetzbar sind.

5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 16 bzw. durch eine Kommunikationsvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 16 gelöst. Die Unteransprüche definieren bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

10

Dabei wurde die Systematik des Faltungscodes dazu genutzt, heuristisch Punktierungsmuster zu finden, nach deren Anwendung alle Bits des punktierten Datenblocks eine ihrer jeweiligen Wichtigkeit entsprechende Bitfehlerrate besitzen.

15

Vorzugsweise weist das Punktierungsmuster eine von dem mittleren Bereich zu beiden Enden des jeweiligen Datenblocks hin zunehmende Punktierungsrate auf. Auf diese Weise werden 20 die Bits am Anfang und Ende des jeweils zu punktierenden Datenblocks stärker punktiert, wobei dies nicht mit einer gleichmäßigen Punktierungsrate, sondern mit einer im Wesentlichen zu den beiden Enden des jeweiligen Datenblocks hin ansteigenden Punktierungsrate erfolgt, d.h. der Abstand 25 zwischen den punktierten Bits wird zu den beiden Enden des Datenblocks hin im Durchschnitt immer kürzer. Wie im weiteren ausgeführt werden wird, muss die Punktierungsrate aber überraschender Weise nicht unbedingt streng monoton zu den Enden hin ansteigen, oder anders ausgedrückt der Punktierungsabstand streng monoton abnehmen. Vielmehr kann 30 es, bedingt durch die spezifischen Eigenschaften der verwendeten Faltungscodes und insbesondere der verwendeten Generatorpolynome auch vorteilhaft sein, etwas unregelmäßiger Muster zu verwenden.

35

Diese Punktierung führt zu einer über den punktierten Datenblock gleichmäßiger verteilten Fehlerrate der einzelnen

Bits und hat zudem eine verminderte Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit zur Folge.

Die vorliegende Erfindung eignet sich insbesondere zur
5 Anpassung der Datenrate eines faltungscodierten Datenstroms und kann somit bevorzugt in UMTS-Mobilfunksystemen eingesetzt werden, wobei dies sowohl den Bereich des Mobilfunksenders als auch den des Mobilfunkempfängers betrifft. Die Erfindung ist jedoch nicht auf diesen Anwendungsbereich beschränkt,
10 sondern kann allgemein überall dort Anwendung finden, wo die Datenrate eines Datenstroms anzupassen ist.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigegebte Zeichnung anhand bevorzugter
15 Ausführungsbeispiele näher beschrieben. Es zeigen
Fig. 1: ein vereinfachtes Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Mobilfunksenders,

Fig. 2: die Bitfehlerrate BER pro Bit für die Punktierung
20 gemäß einem Ausführungsbeispiel beim HS-SCCH, Part 2, Kodierung mir $R=1/3$ mit einem Verhältnis der Energie der übertragenen Bits zur Rauschleistungsdichte $E_s/N_0 = -2$ dB. Beim HS-SCCH Kanal handelt es sich um den sogenannten High Speed Shared Controll Channel, über welchen gewisse
25 Konfigurationsinformationen übertragen werden und der in zwei Teilbereiche, den sogenannten Part 1 und Part 2 aufteilbar ist. Part 1 wird hierbei zuerst übertragen und enthält die Informationen, die die Mobilstation zuerst braucht, um den folgenden Datenkanal zu verarbeiten, Part 2 enthält solche
30 Informationen, die die Mobilstation erst etwas später benötigt. Durch diese Zweiteilung erreicht man, dass die Verzögerung durch den HS-SCCH so klein wie möglich ist, da nur der erste Teil dekodiert werden muss, bevor mit dem Empfang der Daten begonnen werden kann.

35

Fig. 3: die Bitfehlerrate BER pro Bit für die in UMTS (Spezifikation 25.212 v5.0.0, Kap. 4.2.7 "Rate matching")

vorgeschlagene Ratenanpassung beim HS-SCCH, Part 2, bei einem Verhältnis der Energie der übertragenen Bits zur Rauschleistungsdichte von $E_s/N_0 = -2$ dB.

5 Fig. 4: einen Vergleich der mit einer erfindungsgemäßen Punktierung (obere Kurve, Kreuze) bzw. einer herkömmlichen Punktierung (untere Kurve, Kreise) hinsichtlich der daraus resultierenden Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit erzielbaren Ergebnisse, wobei hier die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens ein Bit eines Blocks fehlerhaft übertragen wurde (sog. Rahmenfehlerrate) aufgetragen ist.

10

Fig. 5: zugrundeliegende Schemen für Faltungscodes in UMTS.

15 Fig. 6 : die Bitfehlerrate BER pro Bit für die in UMTS (Spezifikation 25.212 v5.0.0, Kap. 4.2.7 "Rate matching") vorgeschlagene Ratenanpassung beim HS-SCCH, Part 1, bei einem Verhältnis der Energie der übertragenen Bits zur Rauschleistungsdichte von $E_s/N_0 = -3$ dB

20 Fig. 7: wie viele Eingangsbits (Input Bit) betroffen werden bei einer Punktierung eines Ausgangs-Bits in den verschiedenen Ausgangsstufen Output 1, Output 2 und Output 3.

25 Fig. 8: welche Eingangsbits (Bitnummern) durch die Punktierung betroffen sind.

Fig. 9. : eine Tabelle mit den Ergebnissen der Punktierung in Abhängigkeit von der Anzahl der punktierten Bits.

30 Fig. 10 : die Bitfehlerrate BER pro Bit für eine Punktierung gemäß einem Ausführungsbeispiel beim HS-SCCH, Part 1, bei einem Signal-Rausch Verhältnis der Energie der übertragenen Bits zur Rauschleistungsdichte von $E_s/N_0 = -3$ dB

Fig. 11 : verschiedene Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 8 Bits (48 auf 40 Bit) für eine Kodierung mit Rate 1/3

5 Fig. 12 : verschiedene Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 31 Bits (Punktierung von 111 auf 80 Bit), $R = 1/3$

10 Fig. 13 : verschiedene Ausführungsbeispiele für eine Repetierung von 31 Bits (Repetierung von 32 auf 40 Bit), $R = \frac{3}{2}$

Fig. 14 : verschiedene Ausführungsbeispiele für eine Repetierung von 6 Bits (74 auf 80 Bit), $R = 1/3$

15 Fig. 15 : verschiedene Ausführungsbeispiele für eine Repetierung von 4 Bit (36 auf 40 Bit), $R = \frac{3}{2}$

20 Fig. 16 : verschiedene Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 14 Bit (54 auf 40 Bit), $R = 1/3$

Fig. 17 : weitere Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 31 Bits (Punktierung von 111 auf 80 Bit), $R = 1/3$, Diese Figur kann also auch als eine Fortsetzung von Fig. 12 angesehen werden.

25 Fig. 18 : ein Ausführungsbeispiel für eine Punktierung von 108 auf 80 Bits, $R = 1/3$

30 Fig. 19 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 114 auf 80 Bits, $R = 1/3$

Fig. 20 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 117 auf 80 Bits, $R = 1/3$

35 Fig. 21 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 52 auf 40 Bit, $R = 1/2$

Fig. 22 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 46 auf 40 Bit, $R = 1/2$

5 Fig. 23 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 54 auf 40 Bit, $R = 1/3$

Fig. 24 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 56 auf 40 Bit, $R = 1/2$

10

Fig. 25 : Ausführungsbeispiele für eine Repetierung von 36 auf 40 Bit, $R = 1/2$

15

Fig. 26 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 48 auf 40 Bits

20

Fig. 27 : Ausführungsbeispiele für eine Punktierung von 11 auf 80 Bit.

Fig. 28: Ratenanpassungsvorschrift aus der 3 GPP Spezifikation 25.212 v5.0.0, Kap. 4.2.7 „Rate matching“ (Ratenanpassung)

25

Allgemein bedeuten in den Tabellen die Zeilen mit zur Gänze fett gedruckten Zahlen das jeweils besonders bevorzugte Ausführungsbeispiel, wobei aber die Qualität der anderen Ausführungsbeispiel nicht notwendigerweise gravierend von diesem hervorgehobenen Ausführungsbeispiel abweicht. In den Figuren 26 und 27 jedoch bezeichnen fett eingetragenen Zahlen die durch das beschriebenen, erfindungsgemäße Konstruktionsprinzip der Ratenanpassungsformel punktierten bzw. repetierten Bits am Anfang bzw. Ende des Repetierungsmusters. Diese sind somit festgelegt, wohingegen sich die Position der nicht fett gezeichneten Bits durch Variation der Parameter im Rahmen dieser Erfindung auch leicht (typischerweise um eine Position) verschieben können.

In Fig. 1 ist schematisch der Aufbau eines erfindungsgemäßen Mobilfunksenders 1 dargestellt, von dem Daten oder Kommunikationsinformationen, insbesondere Sprachinformationen, über einen Hochfrequenz-

5 Übertragungskanal an einen Empfänger übertragen werden. In Fig. 1 sind insbesondere die an der Codierung dieser Informationen oder Daten beteiligten Komponenten dargestellt. Die von einer Datenquelle 2, beispielsweise einem Mikrofon, gelieferten Informationen werden zunächst mit einem digitalen
10 Quellcodierer 3 in eine Bitfolge umgesetzt. Die sprachcodierten Daten werden anschließend mit Hilfe eines Kanalcodierers 4 codiert, wobei die eigentlichen Nutz- oder Nachrichtenbits redundant codiert werden, wodurch Übertragungsfehler erkannt und anschließend korrigiert werden
15 können. Bei dem Kanalcodierer 4 kann es sich um einen Faltungskodierer handeln. Die sich bei der Kanalcodierung ergebende Coderate r ist eine wichtige Größe zur Beschreibung des jeweils bei der Kanalcodierung eingesetzten Codes und ist, wie bereits erwähnt worden ist, durch den Ausdruck
20 $r = k/n$ definiert. Dabei bezeichnet k die Anzahl der Datenbits und n die Anzahl der insgesamt codierten Bits, d.h. die Anzahl der hinzugefügten redundanten Bits entspricht dem Ausdruck $n - k$. Ein Code mit der oben definierten Coderate r wird auch als (n, k) -Code bezeichnet, wobei die
25 Leistungsfähigkeit des Codes mit abnehmender Coderate r zunimmt. Zur Kanalcodierung werden üblicherweise sogenannte Blockcodes oder Faltungscodes verwendet.

Nachfolgend soll davon ausgegangen werden, dass - wie durch
30 den derzeitigen Stand der UMTS-Standardisierung festgelegt ist - bei der Kanalcodierung Faltungscodes zur Anwendung kommen. Ein wesentlicher Unterschied zu Blockcodes besteht darin, dass bei Faltungscodes nicht einzelne Datenblöcke nacheinander codiert werden, sondern dass es sich um eine kontinuierliche Verarbeitung handelt, wobei jedes aktuelle
35 Codewort einer zu codierenden Eingangssequenz auch von den vorhergehenden Eingangssequenzen abhängt. Unabhängig von der

Coderate $r = k/n$ werden Faltungscodes auch durch die sogenannte Einflußlänge oder 'Constraint Length' K charakterisiert. Die 'Constraint Length' gibt an, über wie viele Takte von k neuen Eingangsbits des Kanalcodierers 4 ein Bit das von dem Kanalcodierer 5 ausgegebene Codewort beeinflusst.

Für UMTS werden die folgenden Faltungscodes verwendet, wie in Figur 5 gezeigt. Die Abbildung ist aus der Spezifikation 10 25.212 Kap. 4.2.3.1 "Convolutional coding" (Faltungskodes) entnommen.

Vor der Übertragung der kanalcodierten Informationen zu dem 15 Empfänger können diese einem Interleaver 5 zugeführt werden, der die zu übertragenden Bits gemäß einem bestimmten Schema zeitlich umordnet und dabei zeitlich spreizt, wodurch die in der Regel bündelweise auftretenden Fehler verteilt werden, um einen sogenannten gedächtnislosen (memoryless) 20 Übertragungskanal mit einer quasizufälligen Fehlerverteilung zu erhalten. Die auf diese Weise codierten Informationen oder Daten werden einem Modulator 7 zugeführt, dessen Aufgabe es ist, die Daten auf ein Trägersignal aufzumodulieren und gemäß einem vorgegebenen Vielfachzugriffsverfahren über einen 25 Hochfrequenz-Übertragungskanal 3 an einen Empfänger zu übertragen.

Zur Übertragung wird der codierte Datenstrom in Datenblöcke 30 aufgeteilt, wobei der Kanalcodierer 4 zu Beginn eines Datenblocks in einen bekannten Zustand gesetzt wird. Am Ende wird jeder codierte Datenblock durch sogenannte 'Tailbits' abgeschlossen, so dass der Kanalcodierer 4 sich wieder in einem bekannten Zustand befindet. Durch diesen Aufbau des Faltungscodes sowie des Kanalcodierers 4 wird erreicht, dass 35 die Bits am Anfang und Ende eines codierten Datenblocks besser als in der Blockmitte gegen Übertragungsfehler geschützt sind. Dabei ist es unerheblich ob diese Tailbits

10.

alle den bekannten Wert 0 haben, oder einen anderen Wert. Die Werte dieser Tailbits können auch beliebig gewählt werden, wobei sowohl Sender als auch Empfänger die zu verwendenden Werte kennen müssen.

5

Die Fehlerwahrscheinlichkeit eines Bits ist abhängig von seiner Lage innerhalb des jeweiligen Datenblocks unterschiedlich. Dieser Effekt wird beispielsweise bei der Sprachübertragung in GSM-Mobilfunksystemen ausgenutzt, indem

10 die wichtigsten Bits an den beiden Blockenden platziert werden, wo die Fehlerwahrscheinlichkeit am geringsten ist.

Bei Datenübertragungen werden jedoch im allgemeinen Datenpakete bereits dann verworfen, wenn nur ein einziges übertragenes Bits fehlerhaft ist, was beispielsweise im

15 Empfänger durch einen sogenannten 'Cyclic Redundancy Check' (CRC) festgestellt werden kann. Daher kann bei einer Datenübertragung nicht von wichtigen oder weniger wichtigen Bits gesprochen werden, sondern alle Bits sind als gleich wichtig anzusehen. Wenn Fehler in einem Kontrollblock

20 auftreten, also einem Datenblock, der Kontroll-Information enthält, welche Informationen darüber enthält, wie nachfolgende Nutzdaten kodiert und übertragen werden, so ist im allgemeinen eine korrekte Detektion dieser Nutzdaten schon dann nicht mehr möglich, wenn nur ein einziges Bit

25 falsch empfangen wird, da die Empfangsdaten dann falsch interpretiert werden.

Um die Datenrate des codierten Datenstroms an die jeweils mögliche Übertragungsrate anzupassen, wird vor dem Modulator

30 7 eine Ratenanpassung ('Rate Matching') durchgeführt. Bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel findet die Ratenanpassung in der Ratenanpassungseinheit 6b statt, wobei die Punktierungseinheit 6a zunächst eine Punktierung gemäß einem bestimmten Punktierungsmuster durchführt, um eine

35 gleichmäßige Fehlerverteilung über einen Datenblock zu erzielen. Die in Fig. 1 gezeigte Reihenfolge der Punktierungseinheit 6a sowie des Interleavers 5 sind

lediglich beispielhaft zu verstehen. Der Interleaver kann auch nach der Einheit 6b angeordnet sein. Ebenso kann der Interleaver 5 auch durch zwei Interleaver vor und nach der Ratenanpassungseinheit 6b ersetzt sein usw.

5

Es ist also auch eine Aufgabe dieser Erfindung, Punktierungsmuster weiter zu optimieren und insbesondere an die für den Kanalcodierer verwendeten Polynome anzupassen. Es stellt sich also die Aufgabe, abhängig vom verwendeten Faltungscode (einschließlich der verwendeten Polynome) und der Blocklänge die Menge der zu punktierenden bzw. repetierenden Bits so auszuwählen, dass die Dekodierung möglichst gut durchgeführt werden kann. In der Regel ergeben sich eine große Anzahl an Möglichkeiten, so dass es zumindest sehr zeit- und ressourcenaufwändig ist, ein sehr gutes Ratenanpassungsmuster rein durch Simulation zu entwickeln. Möchte man beispielsweise alle möglichen Punktierungsmuster zur Punktierung von 48 Bit auf 40 Bit untersuchen, so wären das $48!/(8! \cdot 40!) = 377348994$ verschiedene Möglichkeiten, die in vertretbarer Zeit nicht untersucht werden können.

10

15

20

Dieses Problem stellt sich insbesondere für kurze Blocklängen, wie z. B. für die Kontrollinformation der UMTS-Erweiterung HSDPA, und dort insbesondere den HS-SCCH Kanal (High Speed Shared Controll CHannel). Dieser Kanal überträgt Konfigurationsinformationen, welche angeben, wie die eigentlichen, über einen speziellen Datenkanal gesendeten Nutzdaten, kodiert sind und weitere Details, z.B. die zur Übertragung verwendeten Spreizcodes. Im Gegensatz zum Datenkanal, über den sehr viele Daten übertragen werden können sind das vergleichsweise wenig Daten. In UMTS werden zur Kodierung Faltungscode mit der Rate $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{3}$ verwendet, die verwendeten Polynome sind in Fig. 5 gezeigt. Als Polynome bezeichnet man auch die genaue Gestaltung der "Abgreifpunkte", also welche Verzögerungsstufen für die einzelnen Ausgangsbitströme abgegriffen und durch eine Exklusiv-Oder Operation verknüpft werden.

25

30

35

Die Erfindung ist somit insbesondere anwendbar für den sogenannten HS-SCCH (High Speed Shared Controll CHannel).

5 Die Definition der Kodierung des HS-SCCH ist nach derzeitigem Stand der Technik in der Spezifikation 3GPP TS 25.212 V5.0.0 (2002-03), "Multiplexing and channel coding (FDD) (Release 5)" gegeben, insbesondere im Kapitel 4.6 "Coding for HS-SCCH". Diese Spezifikation wird ansonsten in dieser Anmeldung 10 auch kurz als 25.212 bezeichnet. Im Unterkapitel 4.6.6 "Rate matching for HS-SCCH" wird festgelegt, dass die Ratenanpassung gemäß dem Standard-Ratenanpassungsalgorithmus in Kapitel 4.2.7 "Rate matching" durchgeführt werden muss, der im wesentlichen eine (möglichst) äquidistante Punktierung 15 bzw. Repetierung bewirkt.

Die Blocklänge der beiden Teile des HS-SCCHs beträgt nach derzeitigem Stand 8 Bit für den ersten Teil, oder falls die Endbits (Tail Bits) miteingeschlossen werden 16 Bit, 29 Bit 20 für den zweiten Teil, oder falls auch die Endbits (Tail Bits) miteingeschlossen werden 37 Bits. Da die Spezifikation noch im Fluss ist, können sich aber durch Veränderungen an verschiedenen Parametern auch andere Blocklängen ergeben. Des weiteren kommen auch noch die Faltungscodes mit der Rate $\frac{1}{2}$ oder $1/3$ in Frage. Insbesondere die folgenden Ratenanpassungen sind relevant:

25

- a) 32 auf 40 (mit Code-Rate $R = 1/2$), oder
- b) 48 auf 40 (mit Code-Rate $R = 1/3$), und
- c) 74 auf 80 (mit Code-Rate $R = 1/2$), oder
- d) 111 auf 80 (mit Code-Rate $R = 1/3$).

Vorgehen zur Bestimmung von Punktierungs- und Repetierungsmustern

35

Im Überblick lässt sich also feststellen, dass bei einer Ratenanpassung eine Punktierung und/ oder Repetierung oder

auch eine Repetierung alleine so vorgenommen wird, dass die gesamte Bitfehlerrate (BER) minimal wird. Dazu sei zunächst die Situation in Fig.3 betrachtet: Hier ist die Bitfehlerrate für die einzelnen Bits in einem Rahmen (Frame) aufgetragen.

5 Die Abszisse gibt den Index des jeweiligen Bits "(Frame Index)" wieder. Man sieht deutlich, dass die ersten und letzten Bits eine geringere Bitfehlerrate aufweisen. Dies lässt sich in Zusammenhang mit dem Schema für Faltungscodes aus Figur 5 verstehen: Für die Übertragung werden durch den 10 Faltungscode jeweils Bits aus den verschiedenen Verzögerungsstufen D des Dekodierers miteinander verknüpft. Die ersten Bits werden z.B. auch mit den ihnen vorhergehenden Bits, also eigentlich nicht existierenden Bits verknüpft. Diese "nicht existierenden Bits" werden dann auf einen 15 bekannten Wert, meist Null gesetzt. Dies ist dem Empfänger bekannt, der nun seinerseits mit diesen auf Null gesetzten Bits die ersten übertragenen Bits decodiert. Eine Decodierung ist hier sehr sicher, da ein Teil der Bits mit absoluter Sicherheit bekannt ist.

20 Dasselbe trifft zu für die letzten Bits: In Anschluss an sie werden wieder künstlich Bits, die sogenannten End- Bits oder "tail Bits", in die Verzögerungsgliedern D des Decodierers eingefügt werden; diese End-Bits werden wiederum auf einen bekannten Wert, meist Null gesetzt.

25 Im mittleren Bereich werden Bits miteinander verknüpft, deren Wert am Empfänger nicht mit Sicherheit bekannt ist. Somit ist bei der Decodierung die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein Fehler auftritt, was sich in einer höheren Bitfehlerrate 30 äußert.

Die Hüllkurve der Bitfehlerrate gegenüber der Rahmennummer ist also hier bei gleichmäßiger Repetierung oder Punktierung zunächst einmal nach oben konvexartig ausgeformt.

35 Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, wie sich die Hüllkurve verändert, wenn die Punktierung (oder Repetierung) verändert wird:

a) die Hüllkurve stellt im Wesentlichen eine Horizontale dar (oder nähert sich ihr an):

Das bedeutet, dass die Bitfehlerrate für alle Bits innerhalb eines Rahmens im Wesentlichen gleich ist. Dies geschieht 5 beispielsweise durch eine Punktierung am Rande oder eine Repetierung in der Mitte, oder beides, auch abhängig davon, auf welche Rate angepasst werden soll.

b) konkavartige Ausbildung der Hüllkurve

In diesem Falle wird beispielsweise am Rand so stark 10 punktiert, dass die Bits im mittleren Bereich des Rahmens eine geringere Bitfehlerrate aufweisen. Dieser Sachverhalt ist in Figur 2 zu sehen..

c) die Bitfehlerrate ist unregelmäßig gegenüber der Rahmennummer verteilt. Dieser Fall wird aus weiter unten 15 ausführten Gründen hier nicht näher betrachtet.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf das Punktieren. Analoge Überlegungen können auch für das Repetieren

20 angestellt werden oder auch für Kombinationen aus Repetieren und Punktieren:

Es gibt nun sehr viele Möglichkeiten, wie einzelne Bits 25 punktiert werden können. Möchte man beispielsweise, wie bereits weiter oben ausgeführt, alle möglichen Punktierungsmuster zur Punktierung von 48 Bit auf 40 Bit untersuchen, so wären das $48!/(8! \cdot 40!) = 377348994$ verschiedene Möglichkeiten, die in vertretbarer Zeit nicht alle untersucht werden können.

30 Ziel ist es daher, von vorneherein nicht sinnvolle Möglichkeiten zu eliminieren. Dies geschieht nicht über beliebiges Repetieren und/oder Punktieren, weshalb Alternative c) hier nicht weiter betrachtet wird.

35 Ein Ordnungsprinzip ist in Figur 7 gezeigt. Für die ersten 9 Inputbits 1-9 sowie die letzten 9 Inputbits n-8 bis n wird

das Punktierungsniveau für die jeweilige Ausgangsstufe Output 0, Output 1, Output 2 aufgezeigt. Die Ausgangsstufen selbst sind, wie in Fig. 5 zu sehen, die jeweilige Ausgangsfunktion, die aus allen, dem momentan betrachteten Inputbit zeitlich

5 vorhergehenden Inputbits durch Verknüpfung gebildet wird.

Hier werden die Ausgangsstufen von Fig. 5b) betrachtet, also den Rate 1/3 Faltungsencoder (convolutional encoder).

Für ein Punktieren mit möglichst geringem Informationsverlust bietet es sich an, zunächst Bits wegzulassen (Punktieren),

10 die wenig Einfluss auf andere Bits haben. Das

Punktierungsniveau gibt also an, wie viele Bits durch eine Punktierung des betrachteten Bits beeinflusst werden.

Eine beispielhafte Vorgehensweise für das Weglassen oder
15 Punktieren von Bits ist in Figur 8 gezeigt.

In der ersten Spalte sind wieder die ersten 9 Inputbits 1-9 angegeben, sowie die letzten 9 Inputbits n-8 bis n.

In den folgenden Spalten sind die Bitnummern der von der Punktierung betroffenen Informationsbits, also

20 Informationsbits oder Eingangsbits, für die jeweilige Ausgangsstufe Output 0, Output 1 und Output 2 gezeigt. Die Tabellenfelder sind - wie schon in Fig. 7 - mit steigender

Anzahl der beeinflussten Informationsbits zunehmend dunkler hinterlegt. Die zu den hellen Tabellenfeldern gehörenden Bits sind also Kandidaten für das Punktieren.

In Figur 9 ist eine Tabelle aufgeführt, in der die wichtigen Größen bei Punktierung in der Nähe der Enden, also Punktierung der ersten und letzten Bits, beleuchtet werden.

30 Es werden n Eingangsbits (Informationsbits) und k kodierte Bits (Bits an der Ausgangsstufe, Ausgangsbits) betrachtet.

In der ersten Spalte ist die Anzahl der punktierten Ausgangsbits (# punct bits) angegeben, in der letzten Spalte (Kumulative) die Anzahl der davon betroffenen

35 Informationsbits am Eingang, wobei Eingangsbits, die mehrfach betroffen sind, also durch die Punktierung von mehreren Ausgangsbits, auch entsprechend mehrfach gezählt werden.

In der zweiten Spalte ist unter Sequenz angegeben, welches Ausgangsbit (Bitnummer) in diesem Schritt punktiert wurde.

Die Punktierung erfolgt dabei, beginnend mit den am wenigsten wichtigen Bits in der ersten Zeile, hin zu den folgenden Bits

5 in den folgenden Zeilen. Das Gesamt-Punktierungsmuster für z.B. 7 zu punktierende Bits ergibt sich somit aus den in Spalte 2 in den Zeile 1 bis 7 angegebenen Bits, also den Bits 1, k, 4, k-4, k-6, 2, k-1. Dieses Muster umfasst also die Bits 1, 2, 4, k-6, k-4, k-1, k.

10 Oberhalb der ersten Zeile befindet sich die Indizierung für die ersten Informationsbits 1-9 sowie die letzten

Informationsbits k-8 bis k. Aus Platzgründe wird statt k-8 nur -8 usw. geschrieben. Die Einträge in den Spalten unter der Indizierung der Informationsbits geben an, wie stark das

15 betreffende Informationsbit durch die Punktierung der Ausgangsbits, die in der 2. Spalte bis zur jeweiligen Zeile angegeben sind und also punktiert werden, betroffen wird. Das heißt, wie viele der punktierten Ausgangsbits waren mit diesem Informationsbit verknüpft. Das ist ein Maß dafür, wie

20 stark das betreffende Informationsbit durch die Punktierung geschwächt wurde.

In der letzten Spalte (Kumulative) ist schließlich die Summe dieser Beeinträchtigungen aufgeführt. Sie wird hier kumulativen Punktierungsstärke genannt.

25 Die Spalte Mittelwert gibt das Verhältnis V der Summe der letzten Spalte beteilt durch die Anzahl der betroffenen Informationsbits an. Beispielsweise ergibt sich für 6 punktierte Bits $V = (2+1+1+1+1) / (1+1+1+1+1) = 1,2$

Die mittlere Punktierungsrate (Mittl. P-Rate) ist die Spalte "Mittelwert" geteilt durch 18, die Gesamtzahl der pro Informationsbit bei der Encodierung auftretenden "exklusiv oder"-Verknüpfungen.

35 Eine Vorgehensweise, um eine beliebige Anzahl von Bits zu punktieren, besteht darin, Tabellen analog den oben genannten anzufertigen. Für Rate 1/3 und die betrachteten Polynome des

Faltungskodierers können die gezeigten Tabellen verwendet werden. Bei anderen Kodierungsraten und/oder anderen Polynomen können die Tabellen leicht analog bestimmt werden. Mit Hilfe dieser Tabellen legt man dann eine

5 Punktierungsreihenfolge fest, wo zuerst solche Ausgangsbits punktiert werden, die nur einen geringen Einfluss auf die kumulativen Punktierungsstärke haben. Gibt es dabei mehrere Alternative, so werden bevorzugt solche Bits punktiert, welche das Maximum der Punktierungsstärke der einzelnen Bits 10 minimieren.

Für höhere Anzahl zu punktierender Bits und/oder größeren Blocklängen muss i. d. R. die Information aus den Tabellen mit der Idee, möglichst gleichverteilt über den gesamten Block zu punktieren, kombiniert werden. Es bietet sich dann 15 an, im mittleren Teil zusätzlich gezielt Bits zu punktieren, die vom Generatorpolynom mit den wenigsten Potenzen, d.h. mit den wenigsten Verknüpfungen generiert werden. Gleichzeitig ist jedoch darauf zu achten, dass die Gesamtverteilung der Punktierungsstärke im mittleren Bereich des Rahmens keine 20 deutlichen Überhöhungen aufweist.

Für Repetierung gilt entsprechendes, jeweils mit umgekehrtem Vorzeichen. Das heißt, dass Bits die gemäß der Heuristik zuerst punktiert würden nun zuletzt repetiert werden und dass generell zuerst eine gleichmäßige Repetierung im Mittelteil durchgeführt wird, bevorzugt von den Polynomen mit den meisten Verknüpfungen. Danach werden am Rand solche Bits 25 repetiert, die (bei Punktierung) einen möglichst großen Einfluss auf die kumulativen Punktierungsstärke haben.

30 Im Unterschied zu Verfahren, bei denen die Punktierungsrate zu den Enden hin stetig zunimmt, führt dies zu einem an sich ein unerwarteten Ergebnis, da man erwarten würde, dass die Zuverlässigkeit der kodierten Bits zu den Enden hin 35 stetig zunimmt. Es zeigt sich aber bei genauer Betrachtung der Polynome für den verwendeten Faltungskodierer, dass diese Annahme überraschenderweise nicht stimmt. Durch die

spezifischen Eigenschaften der Polynome ergeben sich, insbesondere am Ende, kodierte Bits, die weniger effektiv zur Kodierung beitragen. Diese Bits treten aber nicht zum Ende hin in stetig zunehmendem Maße auf, sondern sind etwas unregelmäßig verteilt. Indem man das Punktierungsmuster speziell auf diese "schwachen" Bits hin ausrichtet, also bevorzugt diese Bits punktiert, kann man die Kodierung noch weiter verbessern.

Die Erfindung bedient sich also eines heuristisches

Verfahrens, das erlaubt:

- mittels einer neu definierten, heuristischen Metrik die Auswirkung der Punktierung / Repetierung eines codierten Bits auf die zugrunde liegenden Informationsbits näherungsweise zu ermitteln,
- gezielt und für jeden Faltungscode spezifisch Bits auszuwählen, die punktiert bzw. repetiert werden sollen,
- die Anzahl der zu untersuchenden Ratenanpassungsmuster stark einzuschränken.

Nachdem, basierend auf diesem Verfahren, einige wenige erfolgversprechende Ratenanpassungsmuster ermittelt worden sind, werden diese anhand der Rahmenfehlerrate und der Bitfehlerrate jedes einzelnen Informationsbits (im Folgenden als Bitfehlerratenverteilung bezeichnet) verglichen. Iterativ kann dann, basierend auf der entwickelten Metrik, das Ratenanpassungsmuster weiter verfeinert und optimiert werden. Als Startinformation dient die Bitfehlerratenverteilung des unpunktierten / nicht-repetierten Blocks

Als heuristische Metrik wird die Punktierungsstärke S_i pro Bit Informationsbit i definiert als die Anzahl der durch die Punktierung nicht übertragenen Verknüpfungen eines Informationsbits mit den jeweiligen Ausgangsbits des Encoders. S_i ist daher für Punktierung positiv. Für Repetierung wird für jede n -fach übertragene Verknüpfung $S_{i,k} = n-1$ definiert.

S_{max} ist die maximal mögliche Punktierungsstärke, gegeben durch die codespezifische Gesamtzahl der bestehenden Verknüpfungen:

5 Ein gutes Ratenanpassungsmuster wird nach folgenden Gütekriterien gesucht:

1. Wähle die kumulative Punktierungsstärke nahe beim möglichen Minimum

10 2. Sorge für eine möglichst gleichverteilte Bitfehlerrate über allen Informationsbits

Für die Auswahl der zu punktierenden/repetierenden Bits werden basierend auf den Generatorpolynomen des Codes, für den Anfang und das Ende des kodierten Blocks Tabellen 15 aufgestellt, welche die kumulative Punktierungsstärke pro codiertem Bit, sowie die betroffenen Informationsbits darstellen. Damit lassen sich die codierten Bits in sog. Klassen der kumulativen Punktierungsstärke einteilen.

20 Nach dem obigen Gütekriterium werde nun anhand dieser Tabellen zu punktierende / zu repetierende Bits so ausgesucht, dass zunächst für diejenigen Informationsbits, die eine niedrigere Bitfehlerrate zeigen als andere Bits, die Punktierungsstärke erhöht wird und gleichzeitig die 25 kumulative Punktierungsstärke gering gehalten wird. Die Punktierungsstärke wird also umgekehrt proportional zur Bitfehlerrate des Informationsbits gewählt und zudem werden gezielt Bits ausgesucht, die wenig zur kumulativen Punktierungsstärke beitragen.

30 Dieses Verfahren wird danach, basierend auf dem ersten ermittelten Muster iterativ angewendet, so dass schon nach wenigen Simulationen ein für den jeweiligen Faltungscode 35 spezifisch optimiertes Ratenanpassungspattern gefunden werden kann.

In den Fig. 11 und 12 sind verschiedene Möglichkeiten für erfindungsgemäße Punktierungsmuster dargestellt, wobei jeweils die Nummern der zu punktierenden Bits (die Zählung beginnt bei 1) angegeben sind. Die Tabellen sind für

5 unterschiedliche Anzahlen von zu übertragenden Informationsbits und unterschiedliche Anzahlen von nach der Ratenanpassung zu übertragende Bits angegeben.

In Fig. 3 ist beispielhaft der Verlauf der Bitfehlerrate für 10 die einzelnen übertragenen Bits eines Datenblocks in Abhängigkeit von ihrer Position oder Lage in dem Datenblock für eine herkömmliche Punktierung mit einem regelmäßigen Punktierungsmuster aufgetragen.

15 In Fig. 2 ist dieser Verlauf für eine erfindungsgemäße Punktierung mit dem Muster Nummer 33 aus Fig. 12, welches sich in Simulationen als besonders geeignet herausgestellt hat, gezeigt. Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass durch Verwendung des erfindungsgemäßen Punktierungsmusters, ein 20 gleichmäßigerer Verlauf der Bitfehlerrate über den gesamten Datenblock erzielt werden kann. Da im mittleren Bereich des Datenblocks gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise weniger häufig punktiert wird, kann dort eine geringere Fehlerwahrscheinlichkeit erhalten werden. Tatsächlich steigt die Fehlerrate nun zu den Enden hin etwas an, was auf den ersten Blick ungünstig erscheinen könnte. Das resultiert aber daher, dass am Rand besonders viele "schwache" Bits sind, wie bereits oben ausgeführt, wo eine Punktierung recht günstig durchgeführt werden kann.

25 In Fig. 4 ist für dieselben Fälle der Verlauf der Gesamtfehlerrate über den Verhältnis der Energie der übertragenen Bits zur Rauschleistungsdichte aufgetragen. Aus Fig. 4 ist ersichtlich, dass mit Hilfe der Erfindung (untere Kurve, Kreise) eine gegenüber der herkömmlichen Vorgehensweise (obere Kurve, Kreuze) eine um ca. 0,2dB verbesserte Rahmenfehlerrate erzielt werden kann.

Ähnliche Verbesserungen lassen sich auch bei anderen Parametern erzielen. Beispielsweise zeigt die Fig. 6 den Verlauf der Bitfehlerrate für die einzelnen übertragenen Bits eines Datenblocks in Abhängigkeit von ihrer Position in dem

5 Datenblock für eine herkömmliche Punktierung mit einem regelmäßigen Punktierungsmuster bei einer Kodierung mit Rate 1/3 und einer Punktierung von 8 Bit (48 auf 40 Bit). Das entspricht einer Übertragung von 8 Input Bits. Fig. 10 zeigt die Verteilung, wenn statt dessen das Punktierungsmuster Nr. 10 3 aus Fig. 11 verwendet wird, welches sich in Simulationen ebenfalls als besonders geeignet herausgestellt hat. Man sieht, dass sich hier eine sehr ausgeglichene Verteilung ergibt. Auch hierbei ergibt sich eine Verbesserung um ca. 15 0,2dB (hierfür ist aber keine Kurve angefügt, da sie nicht weitere wesentliche Erkenntnisse bringt).

Die Figur 16 zeigt weitere bevorzugte Ausführungsbeispiele im Rahmen der Erfindung mit einer Punktierung von 14 von 54 Bits, wobei die Muster 3 und 4 die besten Ergebnisse erzielen.

20

Die Figuren 13, 14 und 15 zeigen bevorzugte Repetierungsmuster, welche auch durch Anwendung der in dieser Erfindung gezeigten Regeln gewonnen wurden.

30

Die vorliegende Erfindung wurde bisher anhand der Verwendung in einem Mobilfunksender beschrieben. Selbstverständlich kann die Erfindung jedoch auch auf Mobilfunkempfänger ausgedehnt werden, wo ein zur Anpassung der Datenrate auf oben beschriebene Art und Weise punktiertes bzw. repetiertes

35 Signal entsprechend dem jeweils verwendeten Punktierungs- bzw. Repetierungsmuster aufgearbeitet werden muss. Dabei werden in dem jeweiligen Empfänger für sendeseitig punktierte bzw. repetierte Bits zusätzliche Bits in den Empfangs- Bitstrom eingefügt bzw. zwei oder mehr Bits des Empfangs- Bitstroms zusammengefasst. Bei Einfügen von zusätzlichen Bits wird für diese gleichzeitig in Form einer sogenannten 'Soft Decision'-Information vermerkt, dass ihr Informationsgehalt

sehr unsicher ist. Die Verarbeitung des Empfangssignals kann in dem jeweiligen Empfänger sinngemäß in umgekehrter Reihenfolge zu Fig. 1 erfolgen.

5 Weitere unter Verwendung des oben erläuterten Vorgehens ermittelte Ratenanpassungsmuster

Die bisher angegebene Punktierungsmuster konzentrieren sich überwiegend auf eine Punktierung in den Endbereichen oder/und 10 eine Repetierung im mittleren Bereich.

Die nun beschriebenen weiteren Ratenanpassungsmuster wurden mit dem in dem vorher erläuterten Verfahren für verschiedene Vorschläge zur HS-SCCH Codierung in der Standardisierung 15 ermittelt. Angegeben sind jeweils die zu punktierenden bzw. zu repetierenden Bits. Die Bits werden von 1 bis N durchnummieriert. Das bevorzugte Muster wird jeweils zuerst genannt, die weiteren Muster weisen aber stets ähnliche günstige Eigenschaften auf.

20 Die Figur 17, in der diese weiteren Punktierungsmuster aufgeführt sind, stellt also eine Ergänzung zur Figur 12 dar. Entsprechend sind in den Figuren 18- 24 Punktierungsmuster für verschiedene Ausgangsbitraten dargestellt und in Fig. 25 weitere Repetierungsmuster.

35 Approximation von bevorzugten Ratenanpassungsmustern unter Verwendung von bereits in UMTS spezifizierter Komponenten.

30 Die bisher gezeigten Muster haben das Ziel, eine möglichst optimale Auswahl von zu punktierenden bzw. zu repetierenden Bits vorzuschlagen, wobei ansonsten keine weiteren Einschränkungen bezüglich der Muster vorausgesetzt werden. In praktischen Implementierungen kann es aber vorteilhaft sein, 35 nur solche Muster zu betrachten, welche sich mit möglichst kleinen Änderungen an bestehenden Ratenanpassungsschaltungen implementieren lassen. Eine entsprechende

Ratenanpassungsvorschrift ist in der bereits erwähnten Spezifikation 25.212 v5.0.0, Kap. 4.2.7 „Rate matching“ (Ratenanpassung) beschrieben. Im folgenden wird der Teil dieser Vorschrift, der die eigentliche Punktierung oder

5 Repetierung vornimmt und im Kapitel 4.2.7.5 „Rate matching pattern determination“ (Bestimmung von Mustern zur Ratenanpassung) beschrieben ist, sinngemäß wiedergegeben.

Auszug aus der Spezifikation:

10 Vor der Ratenanpassung werden die Bits mit $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iX_i}$ gekennzeichnet. Hierbei stellt i die Transportkanal Nummer dar, die Sequenz selbst ist in den Abschnitten 4.2.7.4 der Spezifikation für den Uplink und in 4.2.7.1. für den Downlink definiert. Als Uplink wird die Verbindung eines

15 Kommunikationsgeräts zur Basisstation verstanden, als Downlink die Verbindung einer Basisstation zu einem Kommunikationsgerät.

Die Regel zur Ratenanpassung ist in dem in Fig. ??? gezeigten Programmausschnitt wiedergegeben, welcher bei Erfüllen der

20 Bedingung abläuft, dass eine Punktierung durchgeführt wird.

- Es wird zunächst eine Fehlerwert e auf einen Anfangswert gesetzt welcher zwischen dem ursprünglichen Fehlerwert und der gewünschten Punktierungsräte liegt.

- In einer Schleife mit dem Index m des momentan betrachteten Bits als Laufparameter wird bis zum Ende der Sequenz, also bis zum Index X_i

- Zunächst der Fehlerwert e auf $e - e_{\min}$ gesetzt, wobei e_{\min} im Wesentlichen die Anzahl der zu punktierenden Bits darstellt.

30 - Anschliessend wird überprüft, ob der Fehlerwert $e <= 0$ ist

- In diesem Falle wird überprüft, ob das Bit mit dem Index m punktiert werden soll, wobei ein zu punktierendes Bit dann auf einen Wert δ gesetzt wird, der verschieden von 0 oder 1 ist.

Im Falle dass eine Repetierung stattfinden soll, findet ein im Wesentlichen analoger Vorgang statt, wobei dann ein repetiertes Bit direkt hinter das ursprüngliche Bit gesetzt wird.

5 Bit

Bei einer Punktierung werden dann im weiteren Verlauf dann die Bits die auf den Wert δ gesetzt wurden entfernt, so dass diese Bits also punktiert werden.

10 Die Parameter X_i , e_{ini} , e_{plus} , und e_{minus} werden jeweils so gewählt, dass die gewünschte Ratenanpassung zu erzielt werden kann. Es gilt dann im Wesentlichen $e_{plus} = X_i$, $e_{minus} = N_p$, wobei X_i , die Anzahl der Bits vor der Ratenanpassung bezeichnet und N_p die Anzahl der zu punktierenden bzw.

15 repetierenden Bits. e_{ini} kann im Bereich zwischen 1 und e_{plus} im Prinzip beliebig gewählt werden, wobei sich eine leichte Verschiebung des Musters ergibt, dies wird in gewissen Fällen (Ratenanpassung nach einem ersten Interleaving (Verschachteln)) verwendet, um die Muster in verschiedenen

20 Rahmen geeignet gegeneinander zu verschieben. Der Parameter i kennzeichnet in der Spezifikation unterschiedliche Transportkanäle. Dieser Parameter ist aber im vorliegenden Fall irrelevant wird daher weggelassen. Nachfolgend werden Möglichkeiten gezeigt, wie man mittels diesem bereits vorhandenen Rate Matching Algorithmus bevorzugte

25 Ratenanpassungsmuster für kurze Blockgrößen bei Faltungscodes approximieren kann. Dabei wird unter der Randbedingung dieses Algorithmus versucht, bei Punktierung bevorzugt Bits an den Enden des Codeblocks zu verwenden und bei Repetierung vor

30 allem Bits aus der Mitte des Codeblocks. Ein Kernaspekt dieses Ausführungsbeispiels besteht darin, den Parameter e_{ini} nicht auf den Wertebereich von 1 bis e_{plus} zu beschränken, sondern statt dessen in vorteilhafter Weise außerhalb dieses Bereiches zu wählen. Eine solche Wahl mag auf den ersten

35 Blick widersinnig erscheinen, weil dann nicht mehr sichergestellt ist, dass die gewünschte Anzahl von Bits punktiert bzw. repetiert wird. Durch eine vorteilhafte

Anpassung der Werte von e_{plus} und e_{minus} kann aber erzielt werden, dass dennoch die gewünschte Anzahl erreicht wird.

Es sei:

5

X_i : Anzahl der Bits vor Rate Matching

N_p : Anzahl zu punktierender / repetierender Bits (der Index p in N_p weist auf die Anzahl der zu punktierenden Bits hin, N_p kann aber auch die Anzahl der zu repetierenden Bits bezeichnen)

10

Um die Anwendung des Rate Matching Algorithmus und damit die Ratenanpassungsmuster vollständig zu spezifizieren, müssen jeweils der Fehleranfangswert e_{ini} , das Fehlerinkrement e_{plus} und das Fehlerdekrement e_{minus} angegeben werden, da diese Parameter das Ratenanpassungsmuster vollständig beschreiben.

15

20

Im folgenden wird die Approximation von bevorzugten Ratenanpassungsmustern mittels dem im Release 99 UMTS Rate-Matching aufgeführten Algorithmus dargestellt.

25

Nachfolgend werden Möglichkeiten gezeigt, wie mittels des bereits im Standard vorhandenen Rate Matching Algorithmus (Datenraten-Anpassungsalgorithmus) bevorzugte Ratenanpassungsmuster für kurze Blockgrößen bei Faltungscodes approximiert werden können. Dabei wird unter der Randbedingung dieses Algorithmus versucht, bei Punktierung bevorzugt Bits an den Enden des Codeblocks zu verwenden und bei Repetierung vor allem Bits aus der Mitte des Codeblocks.

30

Punktierung

35

Die Parameter des Rate Matching Algorithmus werden so gewählt, dass die ersten N_0 Bits am Beginn des Codeblock punktiert werden, dazu muss gelten

$$N_0 \cdot (e_{minus} - e_{plus}) < e_{ini} \leq N_0 \cdot e_{minus} - (N_0 - 1) \cdot e_{plus} \quad (1)$$

Als weiteres Kriterium ist vorgesehen, dass auch das letzte Bit des Blocks punktiert wird, und zwar gemäß folgender

5 Bedingung:

$$(N_0 - 1) \cdot (e_{\text{minus}} - e_{\text{plus}}) < e_{\text{ini}} \quad (2)$$

10 In diesem Fall wird nämlich der Wert der Fehlervariablen e genau beim letzten Bit negativ werden, was bedingt, dass dann dieses Bit punktiert wird.

Beide Kriterien werden z. B. durch folgende bevorzugte Wahl der Parameter erfüllt:

$$e_{\text{plus}} = X_i - N_0 \quad (3)$$

$$15 \quad e_{\text{minus}} = N_p - N_0 \quad (4)$$

$$e_{\text{ini}} = N_0 \cdot e_{\text{minus}} - (N_0 - 1) \cdot e_{\text{plus}} \quad (5)$$

20 In diesen Formeln ist auch der Spezialfall, dass kein Bit am Beginn des Codeblocks punktiert werden soll ($N_0 = 0$), enthalten. Es gilt dann: $e_{\text{ini}} = X_i$, $e_{\text{plus}} = X_i$, $e_{\text{minus}} = N_p$.

25 Die allgemeinen Implementierungen, welche e_{ini} nach den Formeln (1) bis (4) wählen, ergeben Ratenanpassungsmuster, welche sich von denjenigen der bevorzugten Parameterwahl nach (3) bis (5) lediglich dadurch unterscheiden, dass von der $(N_0 + 1)$ -ten bis zur $(N_p - 1)$ -ten Punktierungsstelle der Index des zu punktierenden Bits um eins erniedrigt sein kann.

30 Für das Anwendungsbeispiel einer Punktierung von 48 Bit auf 40 Bit zeigt die Tabelle in Fig. 26 Punktierungsmuster nach der bevorzugten Parameterwahl bis zu $N_0 = 6$. Die nicht fett gedruckten Punktierungsstellen können durch Variation des e_{ini} Wertes gemäß (1) und (2) entweder teilweise oder vollständig 35 um eins erniedrigt werden.

Die nachfolgend in Fig. 27 dargestellte Tabelle zeigt in gleicher Weise die resultierenden Muster für eine Punktierung von 111 Bit auf 80 Bit.

5 Obwohl sich auf diese Weise nicht die optimalen Punktierungsmuster, die bereits weiter oben besprochen wurden, erzielen lassen, so kann man mit diesem Verfahren doch eine gewisse Verbesserung der Übertragungsqualität gegenüber dem derzeitigen Stand der Spezifikation erreicht 10 werden, wobei die vorzunehmenden Änderungen vergleichsweise gering sind.

Repetierung

15 Die Parameter des Rate Matching Algorithmus werden erfindungsgemäß so berechnet, dass ein maximaler Abstand des letzten zu repetierenden Bits vom Blockende garantiert wird, es muss also gelten:

$$e_{ini} = 1 + X_i \cdot e_{minus} - N_p \cdot e_{plus} \quad (6)$$

20 Weiterhin kann dermittleren Abstand zwischen zu repetierenden Bits R_R vorgegeben werden. R_R muss nicht eine ganze Zahl sein, sondern kann eine positive rationale Zahl sein. Es gilt dann:

$$R_R = \frac{e_{plus}}{e_{minus}}, \quad (7)$$

25 Somit können e_{plus} und e_{minus} unter der Randbedingung, dass ihr Quotient gerade R_R ergibt und insgesamt N_p Bits repetiert werden, frei gewählt werden.

30 Soll das erste zu repetierende Bit, genauer gesagt die Position des ersten zu repetierenden Bits (hier als b_1 bezeichnet) vorgegeben werden, so muss neben (6) gelten

$$\frac{e_{ini}}{b_1} \leq e_{minus} < \frac{e_{ini}}{b_1 - 1}, \quad (8)$$

wobei e_{minus} eine Ganzzahl sein sollte und $b_1 \leq X_i - N_p + 1$.

Eine bevorzugte Parameterwahl ergibt für

$$e_{\text{minus}} = N_p, \quad (9)$$

$$e_{\text{plus}} = X_i - b_1 + 1 \quad (10)$$

5 $e_{\text{ini}} = (b_1 - 1) \cdot N_p + 1 \quad (11)$

Mit dieser Wahl der Parameter ist die Position des ersten zu repetierenden Bits b_1 , und es werden, wie gefordert, N_p Bits repetiert.

10 Auch hier sind die entstehenden Repetierungsmuster nicht optimal, verglichen mit den bereits weiter oben besprochen Mustern. Trotzdem kann man mit diesem Verfahren doch eine gewisse Verbesserung der Übertragungsqualität gegenüber dem derzeitigen Stand der Spezifikation erreicht werden, wobei
 15 die vorzunehmenden Änderungen wiederum vergleichsweise gering sind. Durch eine günstige Wahl des Parameters b_1 kann erreicht werden, dass die Repetierung nicht schon am Anfang beginnt. Am Anfang ist eine Repetierung nämlich nicht nötig, da die Bits am Anfang des Faltungsdecoders wie oben gezeigt
 20 ohnehin schon eine vergleichsweise niedrige Fehlerrate aufweisen. Viel nutzbringender ist es also, wenn die zu repetierenden Bits, wie durch dieses Verfahren geschehen eher zur Mitte hin konzentriert werden. Ein Nachteil dieses Ausführungsbeispiels ist allerdings, dass es nur am Anfang
 25 Repetierung vermeidet, während die Verhältnisse am Ende weit weniger positiv beeinflusst werden können. Das ist der Preis, der für die vereinfachte Implementierung gezahlt werden muss.

Selbstverständlich ist auch eine Kombination von oben
 30 genannten Kriterien bei der Auswahl eines Punktierungsmusters möglich. Beispielsweise kann man ein Muster aus zwei hier vorgestellten Mustern kombinieren, indem am Anfang der Anfang des einen Musters verwendet wird und am Ende das Ende des zweiten Musters. Des weiteren ist es unerheblich, wenn die
 35 Bits in einer veränderten Reihenfolge ausgegeben werden, und

29

gleichzeitig das Punktierungsmuster analog angepasst wird.
Beispielsweise kann man die Reihenfolge der Polynome im
Faltungskodierer vertauschen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Anpassung der Datenrate eines Datenstroms in einer Kommunikationsvorrichtung,
 - 5 - wobei der Datenstrom in zumindest einen Datenblock unterteilbar ist, welcher zu übertragende Übertragungsbits enthält,
 - wobei die Übertragungsbits durch einen Codievorgang aus informationstragenden Eingangsbits gebildet werden,
 - 10 - bei dem zur Anpassung der Datenrate aus einem Datenblock des Datenstroms bestimmte Übertragungsbits entfernt (punktiert) werden,
 - wobei durch ein Punktierungsmuster vorgegeben wird, welche Übertragungsbits zu entfernen sind,
 - 15 - und das Punktierungsmuster derart ausgelegt ist, dass bevorzugt Übertragungsbits entfernt werden, die über den Codievorgang von wenigen Eingangsbits abhängen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Punktierungsmuster durch folgende Schritte gebildet wird:
 - 20 - Ermittlung einer kumulativen Punktierungsstärke, welche angibt, welcher Anteil von Informationsbits durch Entfernen von Übertragungsbits aus dem Datenblock entfernt wurde,
 - Bildung einer Entscheidungsfunktion in Abhängigkeit von der kumulativen Punktierungsstärke,
 - Minimieren der Entscheidungsfunktion zur Ermittlung des Punktierungsmusters.
- 30 3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Punktierungsmuster über eine Punktierungsrate den Abstand zwischen zu entfernenden Übertragungsbits vorgibt, wobei die Punktierungsrate für unterschiedliche Bereiche im Datenblock unterschiedlich ist.
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Punktierungsrate im mittleren Bereich des Datenblocks im Wesentlichen

äquidistante Abstände zwischen den zu entfernenden Bits aufweist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass durch die Punktierung, von dem vorderen Ende des zu punktierenden Datenblocks her betrachtet, einen Abschnitt aus folgender Reihe (Bitpositionen) enthält: 1, 4, 2, 3, 8, 7, 5, 6, 15, 12, 14, 11, 10, 9 wobei "1" der ersten Bitposition entspricht.
- 10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass durch die Punktierung, von dem hinteren Ende des zu punktierenden Datenblocks her betrachtet, einen Abschnitt aus folgender Reihe (Bitpositionen) enthält: 0, 4, 6, 1, 2, 15, 12, 10, 9, 7, 4, 5, 18, 13, 8, wobei "0" der letzten Bitposition entspricht.
- 15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass 8 von 48 Bit punktiert werden und zwar die Bit 1, 2, 4, 8, 42, 45, 47, 48.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass 31 von 111 Bit punktiert werden und zwar die Bit 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 24, 42, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass 14 von 54 Bit punktiert werden und zwar die Bit 1, 2, 3, 4, 7, 8, 36, 39, 42, 48, 51, 52, 53, 54.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1-8, dadurch gekennzeichnet, dass das Punktierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass 14 von 54 Bit punktiert werden und zwar die Bit 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 39, 45, 48, 51, 52, 53, 54.

11. Verfahren zur Anpassung der Datenrate eines Datenstroms in einer Kommunikationsvorrichtung,

- wobei der Datenstrom in zumindest einen Datenblock unterteilbar ist, welcher zu übertragende Übertragungsbits enthält,
- wobei die Übertragungsbits durch einen Codervorgang aus informationstragenden Eingangsbits gebildet werden,
- bei dem zur Anpassung der Datenrate aus einem Datenblock des Datenstroms bestimmte Übertragungsbits wiederholt (repetiert) werden,
- wobei durch ein Repetierungsmuster vorgegeben wird, welche Übertragungsbits zu repetieren sind,
- und das Punktierungsmuster derart ausgelegt ist, dass bevorzugt Übertragungsbits repetiert werden, die über den Codervorgang von vielen Eingangsbits abhängen.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem das Repetierungsmuster durch folgende Schritte gebildet wird:

- Ermittlung einer Funktion einer kumulativen Repetierungsstärke, welche angibt,
- welcher Anteil von Eingangsbits durch Wiederholen von Übertragungsbits im Datenblock wiederholt wurde,
- Bildung einer Entscheidungsfunktion in Abhängigkeit von der kumulativen Repetierungsstärke,

- Maximieren der Entscheidungsfunktion zur Ermittlung des Repetierungsmusters.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 11 oder
5 12,

dadurch gekennzeichnet,
dass die Repetierungsrate des Repetierungsmusters, welche
den Abstand zwischen den zu repetierenden Bits vorgibt,
im mittleren Bereich des Datenblocks im wesentlichen
10 äquidistante Abstände bedingt und am Rand des Datenblocks
so große Abstände, dass keine Bit repetiert werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 11 bis
13,

dadurch gekennzeichnet,
dass das Repetierungsmuster derart ausgestaltet ist, dass
4 von 36 Bits repetiert werden und zwar die Bits 16, 18,
20, 22.

20 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Datenblock, in welchem die Ratenanpassung
durchgeführt wird, mit einem Faltungscode codierte Daten
umfasst.

16. Kommunikationsvorrichtung,
mit einer Ratenanpassungseinrichtung (6) zur Punktierung
oder Repetierung eines Datenblocks eines der
Ratenanpassungseinrichtung (6) zugeführten Datenstroms
30 gemäß einem bestimmten Ratenanpassungsmuster zur
Anpassung der Datenrate des Datenstroms, wobei die
Ratenanpassungseinrichtung durch die Punktierung oder
Repetierung dem Ratenanpassungsmuster entsprechende Bits
aus dem Datenblock entfernt oder wiederholt,
35 dadurch gekennzeichnet,
dass die Ratenanpassungseinrichtung (6) derart
ausgestaltet ist, dass sie die Ratenanpassung mit einem

Punktierungsmuster oder Repetierungsmuster durchgeführt, welches nach einem der vorstehenden Ansprüche 1-15 ausgestaltet ist.

5 17. Kommunikationsvorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Kommunikationsvorrichtung (1) eine Mobilfunksende- oder Mobilfunkempfangsvorrichtung, insbesondere eine UMTS-Mobilfunksende- oder UMTS-Mobilfunkempfangsvorrichtung, ist.

10



Zusammenfassung

Verfahren und Kommunikationsvorrichtung zur Anpassung der Datenrate in einer Kommunikationsvorrichtung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anpassung der Datenrate eines Datenstroms in einer Kommunikationsvorrichtung, bei dem

- der Datenstrom in zumindest einen Datenblock unterteilbar ist, welcher zu übertragende Übertragungsbits enthält,

- die Übertragungsbits durch einen Codiervorgang aus informationstragenden Eingangsbits gebildet werden,

- bei dem zur Anpassung der Datenrate aus einem Datenblock des Datenstroms bestimmte Übertragungsbits entfernt

15 15 (punktiert) werden, bei dem

- durch ein Punktierungsmuster vorgegeben wird, welche Übertragungsbits zu entfernen sind,

- und das Punktierungsmuster derart ausgelegt ist, dass bevorzugt Übertragungsbits entfernt werden, die über den 20 Codiervorgang von wenigen Eingangsbits abhängen.

Des weiteren betrifft die Erfindung eine entsprechende Kommunikationsvorrichtung.

25 Figur 2

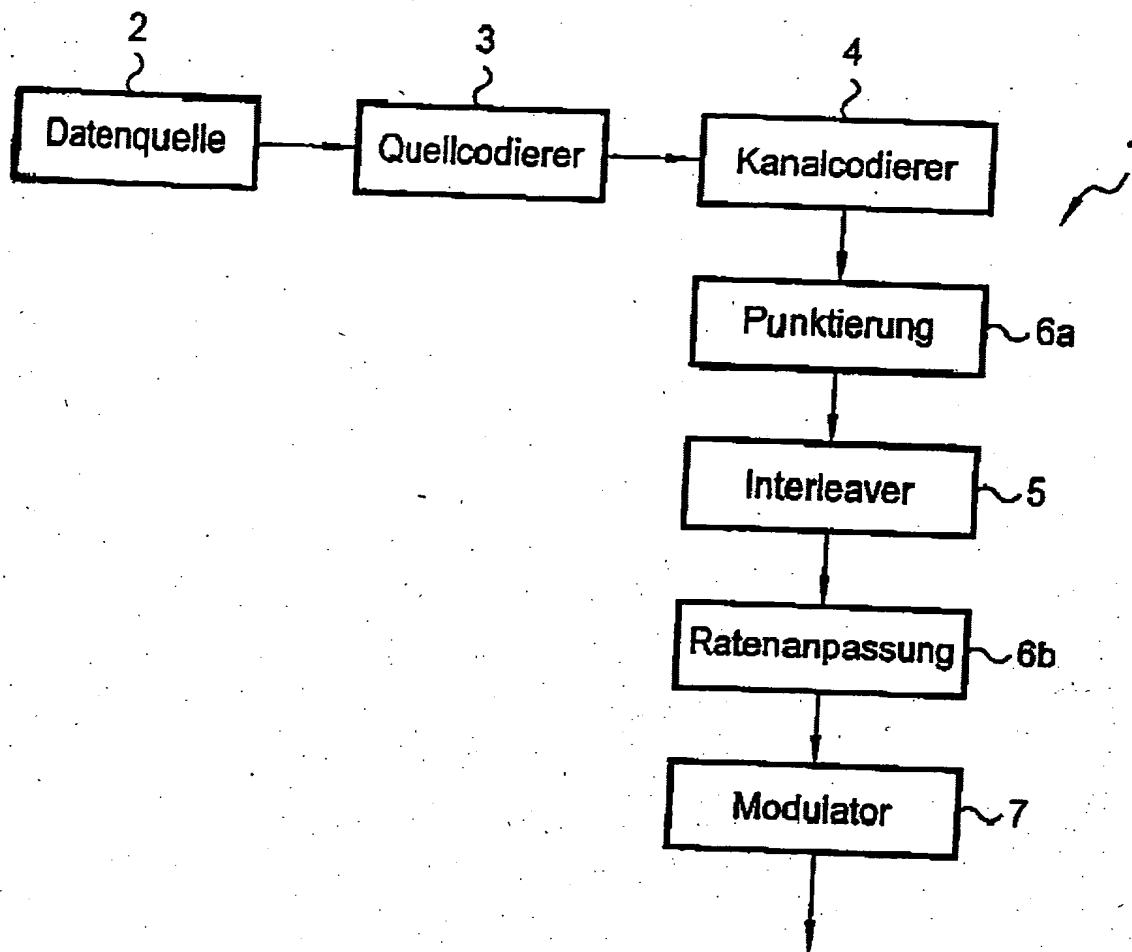


Fig. 1

5

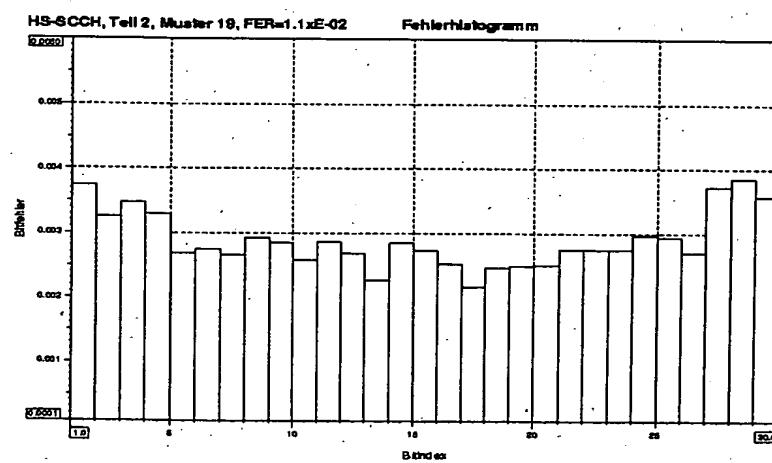
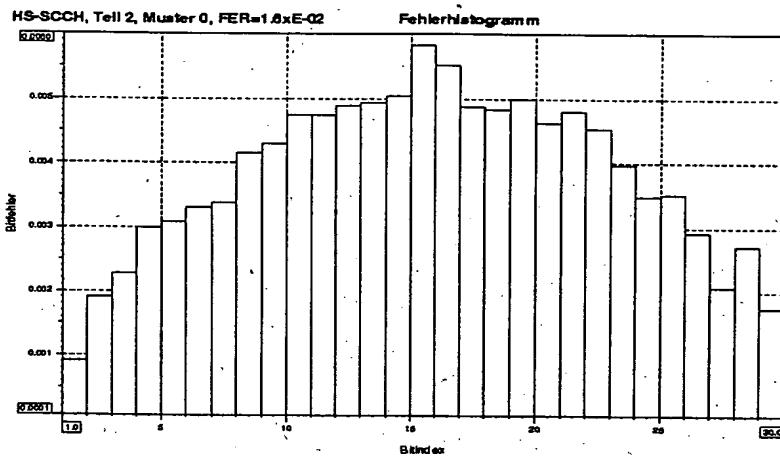


Fig. 2



5 Fig. 3

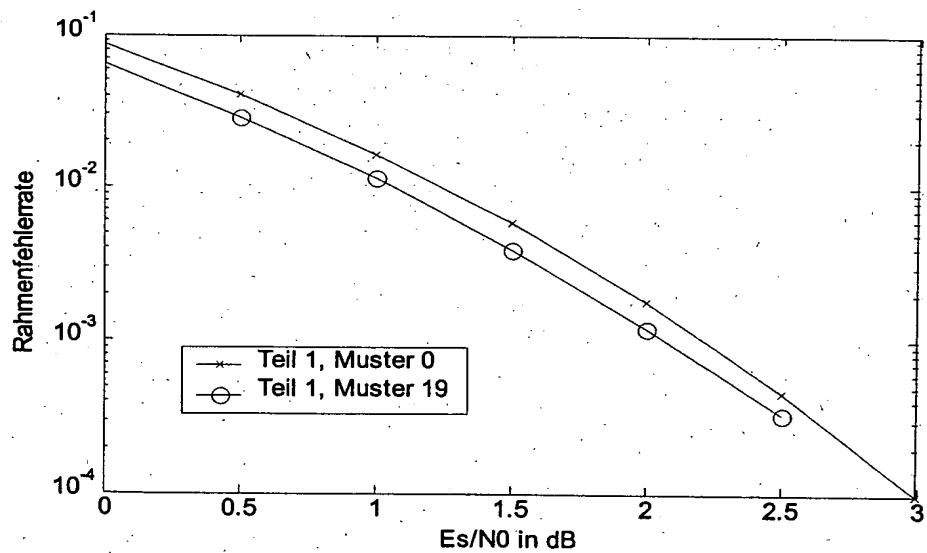


Fig. 4

3

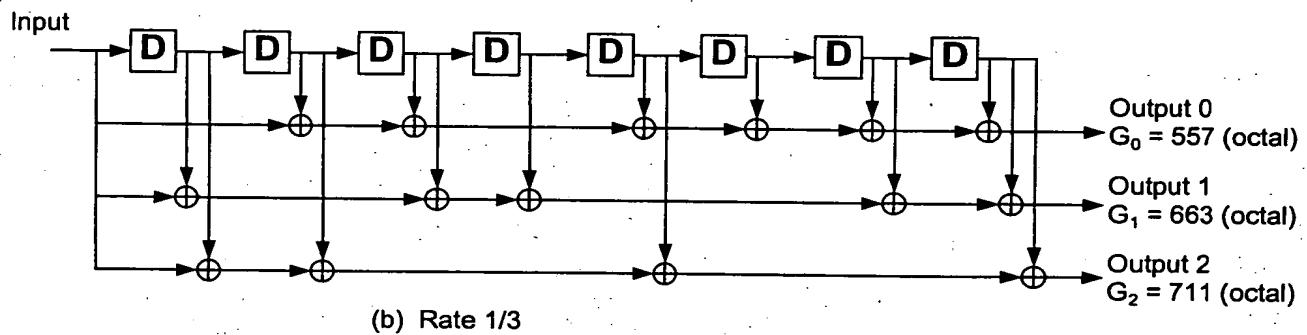
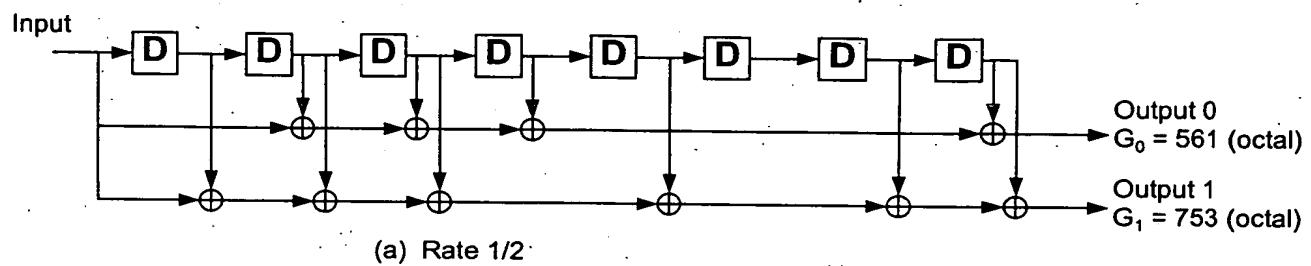
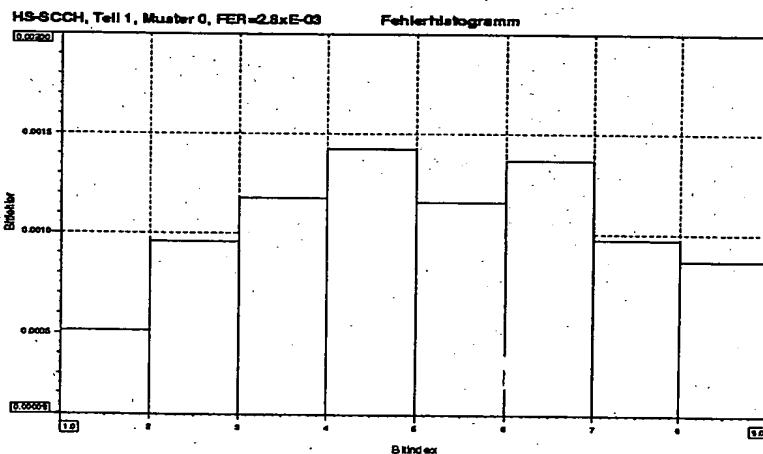


Fig.5



5

Fig.6

4

Kumulatives Punktierungs niveau der kodierten Bits

Input Bit	Output 0	Output 1	Output 2
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	2	3
4	3	3	3
5	3	4	3
6	4	4	4
7	5	4	4
8	6	5	5
9	6	5	5

n-8
n-7
n-6
n-5
n-4
n-3
n-2
n-1
n

6	5	4	3
5	4	3	2
4	3	2	2
3	2	1	1
2	1	1	1
1	1	1	1

Fig. 7

Betroffene Informationsbits

Input Bit	Output 0	Output 1	Output 2
1	1	1	1
2	2	2, 1	2, 1
3	3	3, 2	3, 2, 1
4	4, 2, 1	4, 3, 1	4, 3, 2
5	5, 3, 2	5, 4, 2, 1	5, 4, 3
6	6, 4, 3, 1	6, 5, 3, 2	6, 5, 4, 1
7	7, 5, 4, 2, 1	7, 5, 4, 3	7, 6, 5, 2
8	8, 6, 5, 3, 2, 1	8, 6, 5, 4, 1	8, 7, 6, 3
9	9, 7, 6, 4, 3, 2, 1	9, 8, 7, 6, 4, 1	9, 8, 7, 6, 5

n-8
n-7
n-6
n-5
n-4
n-3
n-2
n-1
n

3, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8	0, -1, -3, -4, -5, -6, -7, -8	0, -1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8
1, -2, -3, -4, -5, -6, -7	0, -2, -3, -6, -7	0, -1, -4, -7
0, -1, -3, -4, -5, -6	-1, -2, -5, -6	0, -3, -6
0, -2, -3, -4, -5	0, -1, -4, -5	-2, -5
-1, -2, -3, -4	0, -3, -4	1, -4
0, -1, -2, -3	-2, -3	0, -3
0, -1, -2	-1, -2	-2
0, -1	0, -1	-1
0	0	0

5 Fig. 8

# punct bits	Optimierte Punktierungsmuster	Punktierungssequenz und Kumulative Punktierung für max. 18 Eingangsbits												Mittelwert	Mittl. P-Rate	Kumulative					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0		
1	1	1																	1,00	0,06	1
2	k	1																1	1,00	0,06	2
3	4	1	1															1	1,00	0,06	3
4	k-4	1	1															1	1,00	0,06	4
5	k-6	1	1															1	1,00	0,06	5
6	2	2	1															1	1,20	0,07	6
7	k-1	2	1															1	1,40	0,08	7
8	3	3	1															1	1,60	0,09	8
9	k-2	3	1															1	1,80	0,10	9
10	8	3	2	1													1	1,83	0,10	11	
11	k-15	3	2	1													1	2	1,86	0,10	13
12	k-12	3	2	1													1	1	1,88	0,10	15
13	k-10	3	2	1													1	1	1,89	0,10	17
14	7	4	2	2													1	1	1,11	0,12	19
15	k-9	4	2	2													1	1	2,33	0,13	21
16	k-7	4	2	2													1	1	2,56	0,14	23
17	5	5	3	2													1	1	2,78	0,15	25
18	k-4	5	3	2													1	1	3,00	0,17	27
19	6	6	4	2													1	1	3,22	0,18	29
20	k-5	6	4	2													1	1	3,44	0,19	31
21	15	6	4	3	1	1											1	1	3,09	0,17	34
22	12	6	4	4	2	2											1	1	3,36	0,19	37
23	14	6	5	5	2	3											1	1	3,64	0,20	40
24	k-18	6	5	5	2	3											1	1	3,58	0,20	43
25	11	7	5	6	3	2											1	1	3,75	0,21	45
26	k-13	7	5	6	3	2											1	1	4,00	0,22	48
27	10	8	6	6	4	2											1	1	4,25	0,24	51
28	k-8	8	6	6	4	2											1	1	4,50	0,25	54
29	9	9	7	7	4	2											1	1	4,75	0,26	57

Fig. 9

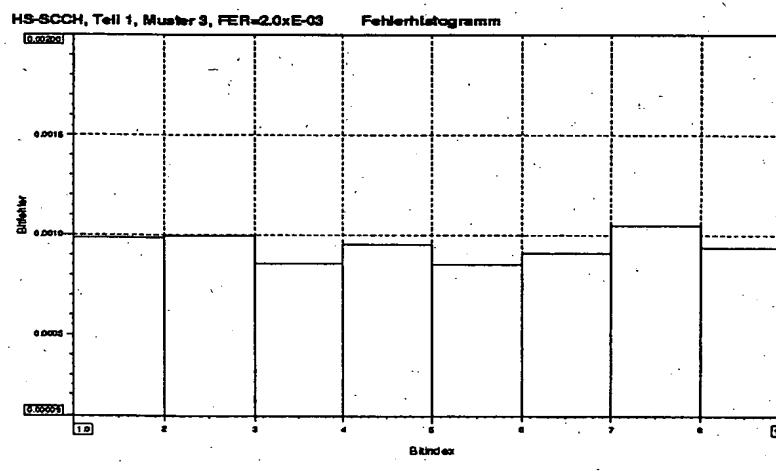


Fig. 10

Punktierung von 48 auf 40 Bit, R = 1/3	
Muster Nr.	zu punktierende Bits
1	1,2,3,4,45,46,47,48
2	1,2,3,4,42,45,47,48
3	1,2,4,8,42,45,47,48
4	1,2,4,15,42,45,47,48

Fig. 11

Punktierung von 111 auf 80 Bit, R = 1/3	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 24, 92, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 24, 92, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 48, 60, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 48, 60, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 42, 45, 57, 66, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 42, 45, 57, 66, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
7	1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75, 81, 87, 93, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 111
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 93, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 93, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 27, 39, 51, 63, 75, 87, 93, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 27, 39, 51, 63, 75, 87, 93, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 45, 48, 57, 63, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
13	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 45, 48, 57, 63, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
14	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 24, 36, 48, 54, 60, 72, 84, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 24, 36, 48, 54, 60, 72, 84, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
16	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 45, 48, 51, 57, 63, 93, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
17	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 45, 48, 51, 57, 63, 93,

	96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
18	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 36, 48, 54, 57, 60, 72, 84, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111,
19	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 24, 36, 42, 48, 54, 57, 60, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
20	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 36, 42, 48, 54, 57, 60, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
21	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 36, 42, 45, 48, 54, 57, 60, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
22	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 36, 42, 45, 48, 54, 57, 60, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
23	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 36, 42, 48, 51, 57, 60, 66, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
24	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 36, 48, 54, 57, 60, 66, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
25	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 24, 48, 54, 57, 60, 63, 66, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
26	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 48, 54, 57, 60, 63, 66, 72, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
27	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 15, 24, 36, 42, 48, 51, 57, 60, 66, 72, 92, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
28	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
29	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 24, 92, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 24, 92, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
31	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 45, 48, 57, 66, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
32	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 45, 48, 57, 66, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111
33	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 24, 42, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111

Fig. 12

Repetierung von 8 Bit (32 auf 40 Bit), $R = \frac{1}{2}$	
Muster	zu repetierende Bits
1	17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31
2	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
3	18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32
2	16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30

Fig. 13

5

Repetierung von 6 Bit (74 auf 80 Bit), $R = \frac{1}{2}$	
Muster	zu repetierende Bits
1	35, 36, 37, 38, 39, 40
2	32, 34, 36, 38, 40, 42
3	26, 30, 34, 38, 42, 44
4	20, 28, 36, 44, 52, 60

Fig. 14

10

Repetierung von 4 Bit (36 auf 40 Bit), $R = \frac{1}{2}$	
Muster	zu repetierende Bits
1	16, 18, 20, 22
2	14, 18, 20, 22

Fig. 15

Punktierung von 14 Bit (54 auf 40 Bit), R = 1/3	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 7, 8, 39, 42, 45, 48, 51, 52, 53, 54
2	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 39, 42, 48, 51, 52, 53, 54
3	1, 2, 3, 4, 7, 8, 36, 39, 42, 48, 51, 52, 53, 54
4	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 39, 45, 48, 51, 52, 53, 54

Fig. 16

zusätzliche Punktierungsmuster von 111 auf 80 Bit, R = 1/3	
Muster	zu punktierende Bits
34	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 44, 49, 54, 59, 64, 69 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
35	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 47, 52, 57, 62, 67, 72, 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
36	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 69 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
37	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 43, 47, 57, 61, 65, 69, 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
38	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 39, 42, 44, 49, 54, 59, 64, 69 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
39	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 36, 39, 44, 49, 54, 59, 64, 69 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
40	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 13, 15, 24, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 68, 70, 75, 83, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 108, 109, 110, 111
41	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75, 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111
42	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 36, 41, 46, 51, 56, 61, 66, 71, 76, 92, 96, 99, 101, 102, 104, 106, 108, 109, 110, 111

Fig.17

Punktierung von 108 auf 80 Bit , $R = 1/3$	
Muster	zu pünktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 48, 54, 57, 63, 66, 69, 72, 75, 93, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108

5 Fig.18

Punktierungsmuster 114→80, R = 1/3

Punktierung von 114 auf 80 Bit, R = 1/3	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 45, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 72, 75, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 72, 96, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 21, 24, 48, 54, 57, 60, 63, 66, 96, 97, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 72, 75, 96, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114
5	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 45, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 72, 75, 96, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 24, 42, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 72, 75, 96, 99, 102, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114
7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 24, 48, 54, 57, 60, 66, 69, 96, 99, 101, 102, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

Punktierungsmuster 117→80, R = 1/3

Punktierungsmuster von 117 auf 80 Bit, R = 1/3	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 68, 72, 76, 80, 84, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 68, 72, 76, 80, 84, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 40, 44, 51, 52, 56, 63, 64, 68, 75, 76, 80, 87, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 43, 47, 51, 55, 59, 63, 67, 71, 75, 79, 83, 87, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
5	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58, 63, 68, 73, 78, 83, 88, 93, 98, 105, 106, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 40, 43, 46, 49, 55, 61, 64, 67, 70, 73, 76, 79, 82, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
7	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 15, 20, 24, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 68, 72, 76, 80, 84, 87, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 114, 115, 116, 117
8	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 64, 68, 72, 76, 80, 84, 86, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 114, 115, 116, 117
9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 42, 45, 48, 54, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81,

15

	98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 60, 69, 75, 78, 81, 84, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
12-	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 42, 45, 48, 54, 57, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81, 102, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117
13	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 42, 45, 48, 54, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81, 84 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117
14	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 39, 42, 45, 48, 54, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81, 99, 102, 105, 107, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117
15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 24, 36, 42, 45, 48, 54, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81, 98, 102, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117

Fig.20

Punktierungsmuster 52 → 40, R = 1/2

Punktierung von 52 auf 40 Bit, R = 1/2	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 5, 43, 45, 47, 49, 50, 51, 52
2	1, 2, 3, 4, 5, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52
3	1, 2, 3, 4, 15, 25, 45, 47, 49, 50, 51, 52
4	1, 2, 3, 4, 5, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52
5	1, 2, 3, 4, 5, 43, 45, 48, 49, 50, 51, 52
6	1, 2, 3, 4, 5, 25, 45, 47, 48, 49, 51, 52
7	1, 2, 3, 4, 5, 25, 43, 47, 48, 49, 51, 52
8	1, 2, 3, 4, 5, 43, 45, 47, 48, 49, 51, 52
9	1, 2, 3, 4, 15, 43, 45, 47, 48, 49, 51, 52

5

Fig.21

Punktierungsmuster 46 → 40, R = 1/2

Punktierung von 46 auf 40 Bit, R = 1/2	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 3, 39, 41, 45, 46
2	1, 3, 39, 41, 43, 46
3	1, 3, 39, 43, 45, 46
4	1, 2, 3, 43, 45, 46
5	1, 2, 39, 41, 45, 46
6	1, 2, 3, 39, 43, 46

10

Fig.22

Punktierungsmuster 54 → 40, R = 1/3

Punktierung von 54 auf 40 Bit, R = 1/3	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 39, 42, 48, 51, 52, 53, 54
2	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 39, 45, 48, 51, 52, 53, 54
3	1, 2, 3, 4, 7, 8, 39, 42, 45, 48, 51, 52, 53, 54
4	1, 2, 3, 4, 7, 8, 13, 39, 45, 48, 51, 52, 53, 54
5	1, 2, 3, 4, 7, 8, 36, 39, 42, 48, 51, 52, 53, 54

5

Fig.23

Punktierungsmuster 56 → 40, R = 1/2

10

Punktierung von 56 auf 40 Bit, R = 1/2	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 45, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56
2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 15, 45, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56
3	1, 2, 3, 4, 5, 15, 21, 29, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Fig.24

Repetierungsmuster 36 → 40, R = 1/2

Repetierung von 36 auf 40 Bit, R = $\frac{1}{2}$	
Muster	zu repetierende Bits
1	14, 18, 20, 22
2	16, 18, 20, 22
3	14, 17, 10, 23
4	10, 15, 20, 25
5	13, 16, 19, 22

Fig.25

Punktierung von 48 auf 40 Bit	
Muster	zu punktierende Bits
1	1, 8, 15, 22, 28, 35, 42, 48
2	1, 2, 10, 18, 25, 33, 41, 48
3	1, 2, 3, 12, 21, 30, 39, 48
4	1, 2, 3, 4, 15, 26, 37, 48
5	1, 2, 3, 4, 5, 20, 34, 48
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 27, 48

Fig. 26

Figur 27: Punktierung von 111 auf 80 Bit

Muster	zu punktierende Bits
1	1, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 41, 44, 47, 50, 53, 56, 60, 63, 66, 69, 72, 75, 78, 81, 84, 87, 90, 93, 96, 99, 102, 105, 108, 111
2	1, 2, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 31, 34, 37, 40, 43, 46, 49, 52, 55, 59, 62, 65, 68, 71, 74, 77, 80, 83, 87, 90, 93, 96, 99, 102, 105, 108, 111
3	1, 2, 3, 7, 10, 13, 16, 19, 23, 26, 29, 32, 35, 38, 42, 45, 48, 51, 54, 57, 61, 64, 67, 70, 73, 77, 80, 83, 86, 89, 92, 96, 99, 102, 105, 108, 111
4	1, 2, 3, 4, 8, 11, 14, 17, 21, 24, 27, 30, 34, 37, 40, 43, 47, 50, 53, 56, 60, 63, 66, 69, 73, 76, 79, 82, 86, 89, 92, 95, 99, 102, 105, 108, 111
5	1, 2, 3, 4, 5, 9, 12, 15, 19, 22, 25, 29, 32, 35, 39, 42, 45, 49, 52, 55, 58, 62, 65, 68, 72, 75, 78, 82, 85, 88, 92, 95, 98, 102, 105, 108, 111
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 17, 20, 23, 27, 30, 34, 37, 40, 44, 47, 51, 54, 57, 61, 64, 67, 71, 74, 78, 81, 84, 88, 91, 95, 98, 101, 105, 108, 111
7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 14, 18, 21, 25, 28, 32, 35, 39, 42, 46, 49, 53, 56, 59, 63, 66, 70, 73, 77, 80, 84, 87, 91, 94, 98, 101, 105, 108, 111
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 19, 23, 26, 30, 33, 37, 40, 44, 48, 51, 55, 58, 62, 65, 69, 72, 76, 80, 83, 87, 90, 94, 97, 101, 104, 108, 111
9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 17, 20, 24, 28, 31, 35, 39, 42, 46, 50, 53, 57, 60, 64, 68, 71, 75, 79, 82, 86, 90, 93, 97, 101, 104, 108, 111
10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 18, 22, 25, 29, 33, 37, 40, 44, 48, 52, 55, 59, 63, 67, 70, 74, 78, 82, 85, 89, 93, 97, 100, 104, 108, 111
11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 19, 23, 27, 31, 35, 38, 42, 46, 50, 54, 58, 61, 65, 69, 73, 77, 81, 85, 88, 92, 96, 100, 104, 108, 111

if puncturing is to be performed

```

5      e = eini           -- initial error between current and desired puncturing ratio
      m = 1             -- index of current bit
      do while m <= Xi
          e = e - eminus      -- update error
          if e <= 0 then      -- check if bit number m should be punctured
              10    set bit xi,m to δ where δ ∈ {0, 1}
              e = e + eplus -- update error
          end if
          m = m + 1           -- next bit
      end do
15    else
          e = eini           -- initial error between current and desired puncturing ratio
          m = 1             -- index of current bit
          do while m <= Xi
              e = e - eminus      -- update error
              20    do while e <= 0      -- check if bit number m should be repeated
                  repeat bit xi,m
                  e = e + eplus -- update error
              end do
              m = m + 1           -- next bit
          end do
25    end if

```

Fig. 28